

Determination of mercury, lead, arsenic, cadmium and chromium in salt and water of Maharloo Lake, Iran, in different seasons

Masoud Hatami Manesh¹,
Mohsen Mirzayi¹,
Mojtaba Bandegani²,
Mehrabn Sadeghi³,
Farah Nazsabet⁴

¹ MSc Student, Department of Environment, School of Natural Source and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

² Department of Chemical Industry, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Environmental Health Engineering, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran

⁴ MSc Student, Department of Biochemistry, School of Medicine, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

(Received August 31, 2013; Accepted October 5, 2013)

Abstract

Background and purpose: Today, environmental pollutions are of the most important issues and hazardous in food safety around the world. Given the importance of salt and water in dietary, and extracting them from Maharloo Lake, Iran, this study aimed to investigate the concentrations of heavy metals, as environmental pollutions, in salt and water of this lake at different seasons.

Materials and methods: In order to monitor heavy metals, including chromium (Cr), mercury (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb), water and salt samplings were done in each season from August 2009 to May 2010. Using atomic absorption, the concentration of the mentioned metals was determined after digesting the samples.

Results: The order of concentration of detected metals in different seasons in salt was Cr > As > Cd > Pb > Hg, and in water was Cr > As > Hg > Cd > Pb. In salt, the highest concentrations of Cr, Cd, Pb, and As were detected in spring and of Hg was seen in summer. Also in water, the highest concentrations of As and Cd were detected in spring, of Cr and Hg in summer, and of Pb in autumn.

Conclusion: In summary, it could be concluded that the changes in the concentration of metals during different seasons was caused by the changes in the inlet water and human activities, especially agricultures. In addition, compared to Iranian standard, determined concentrations of Pb and Hg in salt samples were lower.

Keywords: Maharloo Lake, Iran, heavy metal, salt, water, pollution

اندازه‌گیری فلزات جیوه، سرب، آرسنیک، کادمیوم و کروم در نمک و آب دریاچه مهارلو (استان فارس) در فصول مختلف سال

مسعود حاتمی‌منش^۱محسن میرزایی^۱مجتبی بندگانی^۲مهربان صادقی^۳فرح ناز ثابت^۴

چکیده

سابقه و هدف: امروزه آلودگی‌های محیط زیست، یکی از مخاطرات و موضوعات مهم در بحث ایمنی مواد غذایی در سطح جهان است. با توجه به اهمیت نمک و آب در رژیم غذایی و استحصال آن از دریاچه مهارلو، مطالعه حاضر سعی در اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین کروم، جیوه، آرسنیک، کادمیوم و سرب در نمک و آب دریاچه مهارلو در فصول مختلف سال به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی دارد.

مواد و روش‌ها: به منظور پایش آلودگی فلزات کروم، آرسنیک، جیوه، کادمیوم و سرب از مرداد ۱۳۸۸ تا اردیبهشت ۱۳۸۹ در هر فصل، ۵ نمونه از آب و نمک این دریاچه، نمونه‌برداری صورت گرفت و پس از هضم نمونه‌ها، غلظت این فلزات با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

یافته‌ها: ترتیب غلظت فلزات در فصول مختلف به ترتیب در نمک $Cr > As > Cd > Pb > Hg$ و در آب $Cr > As > Hg > Cd > Pb$ بود. در نمک، بیشترین غلظت فلزات کروم، کادمیوم، آرسنیک و سرب در فصل بهار و برای جیوه در فصل تابستان مشاهده گردید و همچنین در نمونه‌های آب، بیشترین غلظت آرسنیک و کادمیوم در فصل بهار، جیوه و کروم در تابستان و فلز سرب در پاییز به دست آمد.

استنتاج: تغییرات غلظت فلزات در فصول مختلف سال، ناشی از تغییر میزان آب ورودی و فعالیت‌های انسانی به ویژه فعالیت‌های کشاورزی در فصول مختلف می‌باشد. همچنین غلظت جیوه و سرب در نمونه‌های نمک این دریاچه، کمتر از استاندارد (ایران) حداکثر مجاز آلاینده‌ها، در نمک خوراکی بود.

واژه‌های کلیدی: دریاچه مهارلو، فلزات سنگین، نمک، آلودگی آب، ایران

مقدمه

مصرفی خود از نمک طعام استفاده می‌کنند (۱). سابقه برداشت نمک از دریاچه‌های نمکی، حداقل به ۶۰۰۰ هزار سال قبل از میلاد بر می‌گردد (۲). از آن جایی که ممکن است این محیط‌ها و نمک‌های به دست آمده از آن‌ها آلوده به فلزات سمی باشند، محققان زیادی به بررسی آلودگی فلزات در محیط‌ها، معادن و

نمک طعام یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین مکمل‌های غذایی انسان است که از چشمه‌های شور گنبد‌های نمکی، شوراب‌ها، رودخانه‌ها، دریاها و دریاچه‌ها تأمین می‌شود. مردم بسیاری از کشورهای جهان، برای بهبود طعم و مطلوبیت غذای

مؤلف مسئول: مسعود حاتمی‌منش - مازندران: نور، خیابان امام خمینی (ره)، بلوار امام رضا (ع)، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس. E-mail: hatamim69@yahoo.com

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی - محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲. کارشناس صنایع شیمیایی، گروه صنایع شیمیایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران

۴. کارشناس ارشد، گروه بیوشیمی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۹ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۲/۶/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۷/۱۳

نمک تصفیه شده پرداختند (۴-۲).

Eksperiandova و همکاران، به مطالعه تعیین غلظت فلزات سمی در آب‌های شور و شیرین و Leendertes و همکاران به بررسی سرنوشت و تأثیر فلزات در تالاب‌های نمکی پرداختند (۵، ۶).

نمک استخراج شده از معادن مختلف، دارای ناخالصی‌های فراوانی از جمله فلزات سنگین شامل جیوه، کادمیوم، آرسنیک، سرب و غیره است. وجود این عناصر در رژیم غذایی، مضرات فراوانی برای سلامتی انسان به همراه دارد؛ زیرا این عناصر، دارای خاصیت تجمع تدریجی در اندام‌های بدن هستند و مسمومیت‌های مزمن و عوارض بهداشتی مختلفی ایجاد می‌نمایند. با توجه به اهمیت نمک، به ویژه نمک‌های یددار در رژیم غذایی و مصرف روزانه آن توسط تمام اقشار جامعه انسانی، توجه به سالم بودن این مکمل غذایی پر مصرف و تعیین مقادیر ناخالصی موجود در آن به ویژه نمونه‌های استخراجی از معادن - به منظور ارزیابی خطر این ناخالصی‌ها برای سلامتی انسان، می‌تواند نقش مهمی در سلامت خانواده و ارتقای سطح بهداشت جامعه ایفا کند (۷)؛ چرا که اگر مقدار آن‌ها بیشتر از حد استاندارد باشد، ممکن است پس از مدت طولانی عوارض گوناگونی برای مصرف کنندگان به همراه داشته باشند.

در میان این آلاینده‌ها، فلزات به دلیل داشتن خواصی همچون سمیت زیاد، پایداری، تجمع زیستی (Bioaccumulation) و بزرگ‌نمایی زیستی (Biomagnification) در زنجیره غذایی جزء آلاینده‌های بسیار خطرناک محسوب می‌شوند. این عناصر، پس از ورود به بدن موجودات زنده در بدن آن‌ها انباشته می‌شوند و یا به سطوح تغذیه‌ای بالاتر منتقل و سپس در اثر فعل و انفعالات شیمیایی به مواد سمی و خطرناک تبدیل می‌گردند. بدین ترتیب، این مواد سبب بروز اختلالاتی در عملکرد طبیعی موجودات زنده می‌شوند و حتی می‌تواند موجب مرگ موجود گردند (۸).

زنجیره و رژیم غذایی، از مهم‌ترین مسیرهایی است که انسان از طریق آن‌ها تحت تأثیر فلزات سمی قرار می‌گیرد و به

علت تجزیه پذیری کم و پایداری در طبیعت، هنگام ورود به بدن موجودات زنده، در بدن آن‌ها تجمع می‌یابند (۹). هر چند وجود برخی از عناصر مانند مس و روی، به میزان کم در رژیم غذایی انسان به عنوان عناصر ضروری بافت‌های زنده الزامی است؛ اما وجود برخی از آن‌ها در غلظت‌های کم نیز سمی و موجب بروز صدمه و آسیب‌های جدی به موجودات زنده می‌گردند. مهم‌ترین اثرات سوء ناشی از مصرف غذایی آلوده به فلزات سمی از جمله کادمیوم، ایجاد بیماری ایتای و تخریب کلیه و بیضه است (۱).

سرب باعث اختلالات دستگاه عصبی و ایجاد تومورهای کلیوی و سرطان‌های مختلف می‌شود (۱۰). کروم ۳ برای متابولیسم گلوکز به میران کمی ضروری است؛ در حالی که کروم ۶ باعث ایجاد درماتیت‌های پوستی و تحریک غشاهای مخاطی می‌گردد. آرسنیک، یک ماده تجمعی در بدن است که پس از ورود به بدن انسان، به سختی از بدن دفع می‌گردد. از این رو، با تجمع در بدن، باعث ایجاد مسمومیت می‌شود (۱۱).

جیوه برخلاف سایر فلزات، هیچ‌گونه عملکرد مفیدی برای بدن انسان انجام نمی‌دهد. در حالی که ورود آن به بدن، باعث ایجاد اختلالات عصبی و کلیوی می‌شود و مهم‌ترین منبع ورود آن به بدن انسان، از طریق غذا می‌باشد (۱۰).

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی به بررسی اهمیت و امکان بالقوه زیست محیطی دریاچه مهارلو و آلاینده‌های مختلف آن پرداخته‌اند (۱۲، ۱۳). اما با توجه به اهمیت نمک در رژیم غذایی انسان و برداشت آن از دریاچه مهارلو، مطالعات کمی در این دریاچه صورت گرفته است. بنابراین، انجام مطالعه‌ای به منظور ارزیابی خطرات بهداشت عمومی و زیست محیطی ناشی از حضور آلاینده‌های سمی شهری، صنعتی و کشاورزی در محیط آبی دریاچه مهارلو و مواد به دست آمده از آن، ضروری به نظر می‌رسد. از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان تجمع فلزات جیوه، سرب، آرسنیک، کادمیوم و کروم در نمک و آب دریاچه مهارلو در چهار فصل مختلف انجام شد. همچنین در این مطالعه، به نحوه پراکنش فلزات در فصول مختلف سال و مقایسه آن‌ها با هم پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

پس از بررسی نقشه منطقه مورد مطالعه و بازدید از آن به منظور بررسی عوامل مختلف زیست محیطی و تغییرات احتمالی آلودگی فلزات سمی در نمک و آب دریاچه، در فصول مختلف سال در ماه‌های مرداد، آبان و بهمن ۱۳۸۸ و نیز اردیبهشت ۱۳۸۹ و در هر فصل، ۵ نمونه از نمک و آب دریاچه برداشت شد. تصویر شماره ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

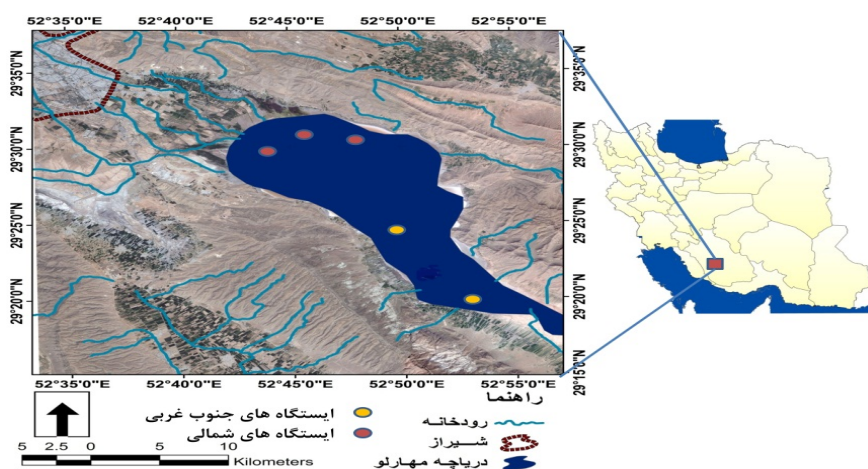
جهت انجام نمونه‌برداری از نمونه‌های نمک، ابتدا نمونه‌هایی از نمک کف دریاچه با استفاده از Van Veen Grab برداشته شد. سپس، در فویل آلومینومی پیچیده و پس از کدگذاری در کلمن یخ قرار داده شد. پس از انجام نمونه‌برداری، نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شد.

جهت آماده‌سازی نمونه‌های نمک کف دریاچه جهت هضم، ابتدا نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا به طور کامل خشک شود. سپس با هاون چینی به شکل پودر همگن در آمد و حدود ۱ گرم از هر نمونه خشک شده، با ترازو توزین و در لوله‌های هضم PTFE (Polytetrafluoroethylene) ریخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد (Merck، آلمان) و اسید پرکلریک ۶۷ درصد با نسبت ۱:۴ به آن اضافه گردید.

ابتدا به مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد لوله‌های PTFE بر روی هیتر قرار گرفت؛ سپس به آرامی دما افزایش یافت و به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. محلول حاصل با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ و قیف پلی اتیلنی عبور داده شد و با آب دیونیزه، حجم آن به ۲۵ میلی‌لیتر رسید. جهت کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه blank نیز در کنار سایر نمونه‌ها همانند نمونه‌های مورد بررسی تهیه شد (۱۴). اما برای آنالیز جیوه از روش بخار سرد استفاده گردید.

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات در آب دریاچه، نمونه‌برداری آب از عمق ۵ cm تا نزدیکی کف، توسط نمونه‌گیر استوانه‌ای (Core sampler) صورت گرفت. سپس نمونه‌ها در ظروف پلی اتیلنی به آزمایشگاه منتقل گردید و بعد، عمل هضم نمونه‌ها به شکل زیر صورت گرفت:

۵۰ ml از نمونه‌های آب برداشته و ۲۰ ml اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه شد و سپس در زیر هود حرارت داده شد تا به حجم ۵۰ ml رسید. سپس نمونه‌های هضم شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ μm عبور یافت و با آب دیونیزه، به حجم ۲۵ ml رسانده شد (۱۵). در نهایت، غلظت فلزات جیوه، سرب، آرسنیک، کادمیوم و کروم در نمک و آب دریاچه توسط دستگاه جذب اتمی Shimadzu مجهز به سیستم گرافیتی‌مدل (AA-۶۷۰G) اندازه‌گیری شد.



تصویر شماره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ (version 17, SPSS Inc., Chicago, IL) و Excel انجام شد. برای آزمایش طبیعی بودن داده‌ها از آزمون Shapiro-Wilk استفاده گردید. برای مقایسه میانگین داده‌های هر فصل و تشخیص معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، پس از اثبات طبیعی بودن داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه ANOVA و آزمون Duncan با سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P = 0.05$) استفاده گردید.

یافته‌ها و بحث

میانگین، انحراف معیار و محدوده غلظت فلزات در نمک و آب دریاچه مهارلو در فصول مختلف در جداول شماره ۱ و ۲ ارائه گردیده است. میانگین غلظت فلزات در فصول مختلف سال در نمونه‌های نمک ($\mu\text{g/g}$) و آب دریاچه (mg/l) به ترتیب برای کروم 0.450 ± 0.074 و 0.250 ± 0.270 ، آرسنیک 0.057 ± 0.074 و 0.37 ± 0.270 ، جیوه 0.083 ± 0.007 و 0.008 ± 0.063 ، سرب 0.035 ± 0.220 و 0.006 ± 0.051 و کادمیوم 0.061 ± 0.270 و 0.061 ± 0.270 می‌باشد.

در بین فلزات مورد مطالعه در نمک دریاچه، فلز کروم و جیوه به ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت و برای نمونه‌های آب، بیشترین مقدار مربوط به فلز کروم و کمترین غلظت مربوط به فلز سرب و جیوه بود. چراغعلی و همکاران به بررسی غلظت برخی از فلزات در نمک‌های خوراکی پرداختند و در پایان، نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان داد که غلظت فلزات Cd ، Pb ، Hg و As در نمونه‌های نمک به ترتیب برابر با 0.24 ، 0.438 ، 0.021 و 0.094 می‌باشد که غلظت آن‌ها به غیر از غلظت سرب، در مقایسه با مطالعه حاضر کمتر است (۲). Jahed khani و همکاران غلظت فلزات سرب و کادمیوم را در نمونه‌های نمک در تهران به ترتیب 0.86 و 0.65 به دست آوردند که در مقایسه با غلظت‌های به دست آمده از نمک دریاچه، از غلظت بیشتری برخوردار هستند (۴).

همچنین نتایج بررسی Soylak و همکاران نشان داد که غلظت فلزات سرب و کادمیوم در نمونه‌های نمک تصفیه نشده

به ترتیب 0.3 و 1.64 می‌باشد که غلظت آن‌ها نسبت به غلظت فلزات سرب و کادمیوم در مطالعه حاضر بیشتر است (۱). در مطالعه حاضر بیشترین غلظت کروم، کادمیوم، آرسنیک و سرب در فصل بهار و جیوه در فصل تابستان در نمونه‌های نمک به دست آمد. Tug و Duman به ارزیابی غلظت فلزات سرب، مس، روی، کروم و کادمیوم در رسوبات دریاچه نمکی در ماه‌های مختلف سال پرداختند که بیشترین غلظت فلزات در آگوست و کمترین غلظت آن‌ها در آوریل به دست آمد. یافته‌های مطالعه آن‌ها با نتایج حاصل از مطالعه حاضر تا حدودی مشابه می‌باشد. همچنین آن‌ها بیان داشتند که بین غلظت فلزات و منبع آن‌ها، همبستگی بالایی وجود دارد (۱۶).

Salati و Moore مشاهده کردند که فلزات کروم، کادمیوم و سرب در آب و رسوب رودخانه خشک شیراز به ترتیب بیشترین غلظت را دارا می‌باشند و نتایج مطالعه آن‌ها با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد (۱۵). با توجه به ورود فاضلاب شهر شیراز به رودخانه‌های منتهی به دریاچه، از جمله رودخانه خشک و چنار راهدار شیراز و افزایش میزان فعالیت‌های کشاورزی در فصل بهار و تابستان، می‌توان این احتمال را داد که آلودگی بالای فلزات در دریاچه در فصل بهار و تابستان ناشی از ورود فاضلاب شهری، صنعتی و بیمارستانی شهر شیراز به رودخانه‌های منتهی به دریاچه می‌باشد. همچنین افزایش فعالیت‌های کشاورزی در اطراف دریاچه به ویژه حوزه شرقی دریاچه و رودخانه‌های منتهی به آن، می‌تواند از دلایل اصلی افزایش غلظت فلزات در نمک و آب دریاچه در بهار و تابستان باشد. Goulding و Blake منبع اصلی فلزات سنگین را کودهای کشاورزی و آلودگی هوا بیان کردند (۱۷).

Kilemade و همکاران غلظت بالای فلزات در منطقه Cork را ناشی از ورود فاضلاب شهری و صنعتی به این منطقه بیان کردند (۱۸). بر اساس مطالعه بابایی و خداپرست میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیوم و جیوه در آب خروجی‌های تالاب انزلی به ترتیب 0.58 ، 0.11 و 0.19 به دست آمد که در بین فلزات مورد بررسی، غلظت فلز سرب بالاتر از نتایج حاصل از این تحقیق می‌باشد (۱۹). با توجه به نزدیکی

دریاچه به جاده و ریزش انواع فاضلاب‌ها به آن، این احتمال می‌رفت که غلظت سرب در نمک و آب دریاچه نسبت به مطالعات مشابه صورت گرفته قابل ملاحظه باشد؛ اما نتایج عکس این مطلب را نشان داد.

با توجه به افزایش میزان آب ورودی به دریاچه در فصل زمستان، می‌توان این احتمال را داد که پایین بودن غلظت فلزات در فصل زمستان، ناشی از افزایش رقت آب دریاچه و در نتیجه کاهش غلظت فلزات می‌باشد. همچنین بالا بودن میزان آرسنیک در آب دریاچه می‌تواند ناشی از ورود زهاب مزارع کشاورزی به دریاچه باشد. بررسی‌های انجام شده در آب و محصولات کشاورزی رودخانه خشک شیراز نشان داد که مقادیر فلزات اندازه‌گیری شده، به ویژه روی، مس و نیکل در محصولات کشاورزی آبیاری شده با آب رودخانه، بالا می‌باشد (۲۰).

Kamala-Kannan و همکاران به بررسی غلظت فلزات در آب دریاچه Pulicat در فصول مختلف پرداختند. یافته‌های مطالعه آن‌ها نشان داد که بین غلظت فلزات در فصول مختلف سال، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. آن‌ها تفاوت در توزیع فلزات در ایستگاه‌ها و فصول مختلف را ناشی از کم و زیاد شدن آب رودخانه‌های منتهی به آن دریاچه، زباله‌های انسانی و آلودگی آب کانال‌های منتهی به آن بیان کردند. همچنین نتایج نشان داد که میزان غلظت فلزات کروم، سرب و کادمیوم به ترتیب $5/60 \mu\text{g/g}$ ، $2/88$ و $0/56$ به دست آمد (۲۱) که از غلظت این فلزات در مطالعه حاضر بیشتر است.

بین غلظت کروم در نمونه‌های نمک و آب دریاچه در فصول مختلف، تغییرات زیادی وجود داشت؛ به طوری که

بیشترین و کمترین غلظت کروم در نمونه‌های نمک در فصل بهار و زمستان ($11/44 \mu\text{g/g}$ و $4/15$) و برای نمونه‌های آب در فصل تابستان و زمستان ($4/3 \text{ mg/l}$ و $0/71$) به دست آمد. همچنین بین غلظت کروم در نمونه‌های نمک در فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$). اما بین غلظت آن‌ها در نمونه‌های آب در فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0/05$) (جداول شماره ۱ و ۲).

مطابق با مطالعات صورت گرفته، به علت ورود فاضلاب‌های صنعتی، زباله‌های فلزی ناشی از کارگاه‌های در و پنجره‌سازی و تعمیرات اتومبیل شهر شیراز به رودخانه خشک، می‌توان این احتمال را داد که مقادیر بالای فلز کروم در آب و نمک دریاچه ناشی از ورود فاضلاب و ضایعات این منابع باشد (۲۰).

بر اساس یافته‌های به دست آمده، بیشترین و کمترین غلظت آرسنیک هم در نمونه‌های نمک ($1/72 \mu\text{g/g}$ و $0/23$) و هم در نمونه‌های آب ($0/73 \text{ mg/l}$ و $0/11$) در فصل بهار و زمستان به دست آمد و همچنین بین غلظت آرسنیک در نمونه‌های نمک و آب در فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/05$) (جداول شماره ۱ و ۲).

آرسنیک، یک عنصر سمی است که در سموم کشاورزی و حشره‌کش‌ها استفاده می‌شود. با توجه به مطالعات صورت گرفته، می‌توان این احتمال را داد که بالا بودن غلظت آرسنیک در آب و نمک دریاچه در فصول مختلف به ویژه در فصل بهار، ناشی از ورود فاضلاب شهر شیراز و زهاب ناشی از آبشویی مزارع اطراف دریاچه مهارلو به رودخانه‌های منتهی به دریاچه و سپس ورود آن‌ها به دریاچه می‌باشد.

جدول شماره ۱: خلاصه نتایج آماری صورت گرفته بر روی نمک دریاچه در فصول مختلف بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک

سطح	زمستان		پاییز		تابستان		بهار		میانگین ± خطای		معیار			
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	میانگین	حداکثر				
کروم	۰/۰۰۲	۴/۳۳	۸/۶۵	۶/۷۰ ^{ab}	۴/۱۵	۶/۲۰	۴/۸۹ ^b	۵/۳۰	۹/۸۸	۷/۵۸ ^a	۵/۷۲	۱۱/۴۴	۷/۷۱ ^a	۶/۷۴۰ ± ۰/۴۵۰
کادمیوم	۰/۰۱۵	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۱۸ ^b	۰/۲۵	۱/۱۲	۰/۶۳ ^b	۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۱۷ ^b	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۰ ^a	۰/۲۷۰ ± ۰/۰۶۱
آرسنیک	۰/۰۰۳	۰/۲۳	۰/۶۰	۰/۴۵ ^c	۰/۵۶	۰/۷۶	۰/۶۸ ^b	۰/۵۳	۱/۱۷	۰/۸۰ ^b	۰/۸۷	۱/۲۷	۱/۰۲ ^a	۰/۷۴۰ ± ۰/۰۵۷
سرب	۰/۰۱۱	۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۱۳ ^b	۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۲۴ ^{ab}	۰/۱۵	۰/۴	۰/۲۸ ^a	۰/۰۵	۰/۷۰	۰/۳۶ ^a	۰/۲۲۰ ± ۰/۰۳۵
جیوه	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۶۸ ^{ab}	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۰ ^a	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۷ ^a	۰/۰۸۳ ± ۰/۰۰۷

اعدادی که حروف اندیس یکسان دارند (نظیر a) فاقد تفاوت آماری معنی‌دار ($P > 0/05$) و اعداد با حروف اندیس مختلف (نظیر b و a) دارای اختلاف معنی‌دار آماری ($P < 0/05$) در تست جداساز Duncan هستند.

جدول شماره ۲: خلاصه نتایج آماری صورت گرفته بر روی آب دریاچه در فصول مختلف بر حسب میلی گرم بر لیتر

سطح	زمستان			پاییز			تابستان			بهار			میانگین \pm خطای		
	حد اقل	حد اکثر	میانگین	حد اقل	حد اکثر	میانگین	حد اقل	حد اکثر	میانگین	حد اقل	حد اکثر	میانگین	معیار		
کروم	۰/۰۸۹	۰/۷۱	۱/۷۰	۱/۱۹ ^c	۰/۸۹	۳/۰۰	۱/۷۷ ^{ab}	۱/۴۳	۴/۳۱	۳/۳۲ ^a	۲/۲۰	۳/۳۰	۲/۸۰ ^a	۲/۲۷۰ \pm ۰/۲۵۰	
کادمیوم	۰/۰۰۵	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۹ ^{ab}	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۶ ^b	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۹ ^a	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۱ ^a	۰/۰۹۰ \pm ۰/۰۶۱	
آرسنیک	۰/۰۰۱	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۶ ^c	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۱۷ ^{ab}	۰/۱۴	۰/۷۳	۰/۳۳ ^a	۰/۳۱	۰/۵۵	۰/۴۳ ^b	۰/۲۷۰ \pm ۰/۰۳۷	
سرب	۰/۰۰۱	¹ ND	۰/۰۴	۰/۰۲ ^c	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۳ ^{bc}	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۴ ^b	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۸ ^a	۰/۰۵۱ \pm ۰/۰۰۶	
جیوه	۰/۷۸	ND	۰/۰۷	۰/۰۶ ^a	ND	۰/۱۰	۰/۰۴ ^a	ND	۰/۰۸	۰/۰۶ ^a	ND	۰/۰۱	۰/۰۷ ^a	۰/۰۶۳ \pm ۰/۰۰۸	

¹ND: Non detected

اعدادی که حروف اندیس یکسان دارند (نظیر a) فاقد تفاوت آماری معنی دار ($P > ۰/۰۵$) و اعداد با حروف اندیس مختلف (نظیر a و b) دارای اختلاف معنی دار آماری ($P < ۰/۰۵$) در تست جداساز Duncan هستند.

اساس مطالعات صورت گرفته مبنی بر منشأیابی فلزات، وجود سرب در منطقه مطالعاتی، می تواند به دلیل نزدیکی جاده شیراز - سروستان به دریاچه، ریزش های جوی و ورود پساب های شهری و صنعتی شهر شیراز به آن باشد.

درین فلزات مطالعه شده، غلظت جیوه از بقیه کمتر و همچنین دامنه تغییرات آن نیز محدودتر بود. دامنه تغییرات فلز جیوه در فصول مختلف سال به ترتیب در نمونه های نمک و آب بین $۰/۱۴ \mu\text{g/g}$ تا $۰/۰۲$ و $۰/۱ \text{ mg/l}$ تا ND (زیر حد تشخیص دستگاه) به دست آمد. بیشترین و کمترین غلظت جیوه در فصل تابستان و زمستان برای نمونه های نمک و در فصل بهار و زمستان در نمونه های آب به دست آمد. همچنین نتایج آنالیزهای آماری صورت گرفته بر روی داده ها، نشان داد که بین غلظت جیوه در نمونه های نمک در فصول مختلف، تفاوت معنی داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$)؛ اما بین غلظت آن در نمونه های آب در فصول مختلف اختلاف معنی داری مشاهده نشده است ($P > ۰/۰۵$) (جدول شماره ۱ و ۲).

پورقیصری و همکاران غلظت فلز جیوه را در نمک تصفیه نشده $۰/۶۱ \mu\text{g/g}$ به دست آوردند که در مقایسه با غلظت به دست آمده از نمک دریاچه مهارلو بیشتر می باشد (۲۲). Gustin و Peterson غلظت جیوه را در آب دریاچه نمک Utah، $۳/۶ \text{ mg/l}$ به دست آوردند (۲۴) که نسبت به مطالعه حاضر بیشتر است.

نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات در نمک دریاچه مهارلو با حداکثر مجاز غلظت فلزات سمی در نمک خوراکی و استاندارد (Codex standard) در جدول شماره ۳ ارایه

برای کادمیوم بیشترین و کمترین غلظت هم در نمک $۱/۱۲ \mu\text{g/g}$ و $۰/۰۷$ و هم در آب $۰/۱۷ \text{ mg/l}$ و زیر حد تشخیص دستگاه) در بهار و پاییز به دست آمد. همچنین آنالیزهای آماری صورت گرفته نشان داد که بین غلظت کادمیوم در نمونه های نمک و آب در فصول مختلف، اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$) (جدول شماره ۱ و ۲).

پورقیصری و همکاران نشان دادند که غلظت فلز کادمیوم در نمک تصفیه نشده $۰/۱۶ \text{ mg/kg}$ می باشد که در مقایسه با غلظت به دست آمده از نمک دریاچه مهارلو، از غلظت کمتری برخوردار است (۲۲). Kamala-Kannan و همکاران میانگین غلظت کادمیوم را در آب دریاچه Pulicat در فصول مختلف $۰/۵۶ \mu\text{g/g}$ به دست آوردند که نسبت به نتایج مطالعه حاضر، از غلظت بیشتری برخوردار است (۲۱).

غلظت و دامنه تغییرات فلز سرب نسبت به فلزات آرسنیک، کروم و کادمیوم در نمک و آب کمتر بود. برای سرب، بیشترین و کمترین غلظت در بهار و زمستان $۰/۷ \mu\text{g/g}$ و $۰/۰۳$ در نمونه های نمک و در نمونه های آب در پاییز $۰/۱۱ \text{ mg/l}$ و در زمستان زیر حد تشخیص دستگاه (ND) به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که بین غلظت سرب در نمونه های نمک و آب در فصول مختلف، اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$) (جدول شماره ۱ و ۲).

اگر چه بسیاری از تحقیقات، منشأ فلز سرب را در نتیجه سوخت های فسیلی، صنایع پتروشیمی و بهره برداری از معادن بیان کرده اند (۱۰)، اما منابع دیگر این فلز، شامل تخلیه پساب های شهری و ریزش های جوی در محیط های آبی می باشد (۲۳). بر

جدول شماره ۳: مقایسه حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌ها در نمک خوراکی (۲۵، ۲۶) و با نمک دریاچه مهارلو

فلز	حداکثر مقدار مجاز (µg/g)	Codex Maximum limit	میانگین فلز در نمک دریاچه در فصول مختلف (µg/g)
آرسنیک	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۷۴
جیوه	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸
کادمیوم	۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۲۷
سرب	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۲
کروم	-	۰/۵۰	۶/۷۴

شده است. مقایسه نمک دریاچه با حداکثر مجاز آلاینده‌ها در نمک خوراکی نشان داد که غلظت فلزات جیوه و سرب در نمک دریاچه کمتر از حداکثر غلظت مجاز آن‌ها در نمک خوراکی می‌باشد؛ اما برای فلزات آرسنیک، کادمیوم و کروم، این مقدار بیشتر از حداکثر مجاز آن در نمک بود. با توجه به ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی شهر شیراز به رودخانه‌های

منتهی به دریاچه مهارلو و وجود مزارع کشاورزی وسیع در اطراف دریاچه و ورود زهاب این مزارع به این رودخانه‌ها، می‌توان این احتمال را داد که بالا بودن آرسنیک، کروم و کادمیوم در نمک دریاچه، می‌تواند ناشی از ورود فاضلاب شهری و شسته شدن آرسنیک در مزارع کشاورزی و ورود آن به رودخانه‌ها و سپس دریاچه باشد.

References

- Soylak M, Peker DS, Turkoglu O. Heavy metal contents of refined and unrefined table salts from Turkey, Egypt and Greece. *Environ Monit Assess* 2008; 143(1-3): 267-72.
- Cheraghali AM, Kobarfard F, Faeizya N. Heavy Metals Contamination of Table Salt Consumed in Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research* 2010; 9(2): 129-32. (Persian).
- Siddique M, Abdul M, Mahbuba A. Heavy Metals in Salt Marsh Sediments of Porteresia Bed along the Karnafully River Coast, Chittagong. *Soil & Water Research* 2012; 7(3): 117-23.
- Jahed Khaniki GR, Dehghani MH, Mahvi AH, Nazmara Sh. Determination of Trace Metal Contaminants in Edible Salts in Tehran (Iran) by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Journal of Biological Sciences* 2007; 7(5): 811-4.
- Leendertse PC, Scholten MCT, van der Wal JT. Fate and effects of nutrients and heavy metals in experimental salt marsh ecosystems. *Environmental Pollution* 1996; 94(1): 19-29.
- Eksperiandova LP, Makarovska YN, Blank AB. Determination of small quantities of heavy metals in water-soluble salts and natural water by X-ray fluorescence. *Analytica Chimica Acta* 1998; 371(1): 105-8.
- Sheykh Aleslam R, Aflatounian MR, Toori K, Abdollahi Z, Samadpour K, Azizi F. Prevalence of goiter and urinary iodine content in schoolchildren of Kerman (Iran) in 2001. *J Kerman Univ Med Sci* 2006; 13(1): 15-21. (Persian).
- Stewart AR. Accumulation of Cd by a freshwater mussel (*Pyganodon grandis*) is reduced in the presence of Cu, Zn, Pb and Ni. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1999; 56(3): 467-78.
- Islam E, Yang XE, He ZL, Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J Zhejiang Univ Sci B* 2007; 8(1): 1-13.
- Esmaili Sari A. Pollution, health & Environmental Standards. Tehran, Iran: Naghshemehr; 2003. (Persian).
- Saracoglu S, Soy lak M, Elci L. Enrichment and separation of traces of cadmium, chromium, lead and manganese ions in urine by using magnesium hydroxide coprecipitation method. *Trace elements and electrolytes* 2001; 18(3): 129-33.
- Haghighat RA, Rahnemaei M, Manshori M. Comparison of water chemical changes in water resources of the basin Maharlu, Fars Province. *Journal of Applied Geology* 2012; 7(2): 147-56. (Persian).
- Manafi Mola Yuosefi M, Hayati B. The estimated of the recreational value of the Shiraz lake Maharlu by using of the contingent valuation method. *Iranian journal of Natural Resources* 2010; 63(3): 291-302. (Persian).
- Yap CK, Ismail A, Tan SG, Omar H. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb And Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia. *Environ Int* 2002; 28(1-2): 117-26.

15. Salati S, Moore F. Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran. *Environ Monit Assess* 2010; 164(1-4): 677-89.
16. Tug GN, Duman F. Heavy metal accumulation in soils around a salt lake in turkey. *Pak J Bot* 2010; 42(4): 2327-33.
17. Blake L, Goulding KW. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant and Soil* 2002; 240(2): 235-51.
18. Kilemade M, Hartl MG, Sheehan D, Mothersill C, van Pelt FN, O'Brien NM, et al. An assessment of the pollutant status of surficial sediment in Cork Harbour in the South East of Ireland with particular reference to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Mar Pollut Bull* 2004; 49(11-12): 1084-96.
19. Babaei H, Khodaparast SH. Study on the total petroleum hydrocarbon (TPH) and heavy metals (Zn, Cu, Fe, Pb, Cr, Cd And Hg) concentrations in Anzali wetland outlets. *Wetland* 2009; 1(1): 33-45. (Persian).
20. Kafilzadeh F, Kargar M, Kadivar E. Investigation of the Concentrations of Cd, Zn, Cu, Fe and Ni in the dry river Shiraz and some agricultural products near it. *Journal of Environmental Sciences and Technology* 2006; 8(4): 68-76. (Persian).
21. Kamala-Kannan S, Prabhu Dass BB, Lee KJ, Kannan N, Krishnamoorthy R, Shanthi K, et al. Assessment of heavy metals (Cd, Cr and Pb) in water, sediment and seaweed (*Ulva lactuca*) in the Pulicat Lake, South East India. *Chemosphere* 2008; 71(7): 1233-40.
22. Pourgheysari H, Moazeni M, Ebrahimi A. Heavy metal content in edible salts in Isfahan and estimation of their daily intake via salt consumption. *International Journal of Environmental Health Engineering* 2012; 1(1): 8-11.
23. Haritonidis S, Malea P. Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. *Environmental Pollution* 1999; 104(3): 365-72.
24. Peterson C, Gustin M. Mercury in the air, water and biota at the Great Salt Lake (Utah, USA). *Sci Total Environ* 2008; 405(1-3): 255-68.
25. Iran Small Industries & Industrial Parks Organization. Feasibility study and preliminary designs of refined salt production [online]. 2007. Available from: URL: <http://dn11.tebyan.net/Library/Books/pdf/Persian/8add2f23010d722ca67b27532a81c5977.pdf>
26. Codex Alimentarius commission, 2001. Codex Standard: Standard for food grade salt. CX STAN150- Amend. 2-2001. Codex Alimentarius Commission. Rome, Italy: Joint FAO/WHO Food Standards Programs; 2001.